

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-317-1-87-93>

УДК 621.924.7

**ЗАЛЮБОВСЬКИЙ Марк**

Київський національний університет технологій та дизайну,  
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»  
<https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>  
e-mail: [markzalubovskiy@gmail.com](mailto:markzalubovskiy@gmail.com)

**ПАНАСЮК Ігор**

Київський національний університет технологій та дизайну  
<https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>  
e-mail: [panasyuk1961@gmail.com](mailto:panasyuk1961@gmail.com)

**ЛИЧОВ Дмитро**

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»  
<https://orcid.org/0000-0002-3231-5985>  
e-mail: [dimalychov@gmail.com](mailto:dimalychov@gmail.com)

**КОШЕЛЬ Ганна**

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»  
<https://orcid.org/0000-0003-1862-1553>  
e-mail: [a\\_koshel@ukr.net](mailto:a_koshel@ukr.net)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ РЕЖИМІВ РУХУ РОБОЧОГО МАСИВУ В ГАЛТУВАЛЬНІЙ МАШИНІ З ДОДАТКОВОЮ РУХОМОЮ ЛАНКОЮ ПОВЗУНОМ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗМІНИ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ

За допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks виконані аналітичні дослідження галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості типу «Turbula», яка містить у своєму кінематичному ланцюзі додаткову рухома ланку повзун. На основі проведених аналітичних досліджень визначено взаємозв'язок між зміною режимів руху робочого масиву в середині ємкості, значенням кутової швидкості ведучого валу, масштабним типорозміром та відношенням міжосьової відстані ємкості до міжосьової відстані вилочного валу, представлено класифікація режимів руху робочого масиву, зокрема, до яких слід віднести каскадний, змішаний та водоспадний режими руху. Кожен режим руху відповідає реалізації відповідних типів галтувальних технологічних операцій або змішування сипких дрібнодисперсних речовин. Встановлений вплив зміни довжини робочої ємкості, яка характеризується відношенням міжосьової відстані робочої ємкості до міжосьової відстані ведучої чи веденої вилочної машини, на зміну режимів руху робочого масиву. Отримано математичні залежності для визначення граничної кутової швидкості ведучого валу галтувальної машини типу «Turbula» з додатковою рухома ланкою повзунком, яка буде відповідати утворенню необхідного режиму руху робочого масиву. Представлені результати аналітичних досліджень можуть бути застосовані у відповідних конструкторських бюро машинобудівних підприємств на стадії проектування обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей та галтувальних технологічних процесів.

Ключові слова: додаткова рухома ланка, повзун, робочий масив, галтування.

**ZALYUBOVSKYI Mark**

Kyiv National University of Technology and Design,  
Open International University of Human Development "Ukraine"

**PANASYUK Igor**

Kyiv National University of Technology and Design

**LYCHOV Dmitro**

Open International University of Human Development "Ukraine"

**KOSHEL Ganna**

Open International University of Human Development "Ukraine"

### RESEARCH OF THE CHANGE OF THE MOTION MODES OF THE WORKING ARRAY IN A TURNING MACHINE WITH AN ADDITIONAL MOVEABLE SLIDING LINK DEPENDING ON THE CHANGE OF DESIGN FEATURES

With the help of the SolidWorks automated design system, analytical studies of the rolling machine with complex spatial movement of the working capacity of the "Turbula" type, which contains an additional moving link of the slider in its kinematic chain, were performed. On the basis of the analytical studies, the relationship between the change in the modes of movement of the working array in the middle of the container, the value of the angular velocity of the drive shaft, the scale standard size and the ratio of the interaxial distance of the container to the interaxial distance of the forks was determined. The classification of the movement modes of the working mass is presented, in particular, which should include cascade, mixed and waterfall movement modes. Each movement mode corresponds to the implementation of the corresponding types of felting technological operations or mixing of loose fine-dispersed substances. The effect of changing the length of the working capacity, which is characterized by the ratio of the interaxial distance of the working capacity to the interaxial distance of the leading or driven forks of the machine, on the change in the modes of movement of the working array has been established. Mathematical dependencies have been obtained for determining the maximum angular velocity of the drive shaft of the "Turbula" type rolling machine with an additional movable slider link, which will correspond to the formation of the necessary mode of movement of the working array. The presented results of analytical studies can be applied in the relevant design bureaus of machine-building enterprises at the stage of designing equipment with complex spatial movement of working capacities and felting technological processes.

**Key words:** additional moving link, slider, working array, felting.

## Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

При роботі будь-якої галтувальної машини у середині її рухомої ємкості можна реалізувати різний характер та різну інтенсивність переміщення сипкого робочого масиву, які залежать від кутової швидкості ведучого валу машини, а також, які класифікуються, як каскадний, водоспадний та змішаний режими руху [1].

Оскільки для виконання тої чи іншої галтувальної технологічної операції [2] необхідне забезпечення визначеного режиму руху робочого масиву, то важливою задачею є встановлення математичних закономірностей між зміною конструктивних особливостей машини, значенням кутової швидкості ведучого валу та реалізації самого режиму руху.

### Аналіз досліджень та публікацій

У роботі [1] наведені детальні характеристики усіх режимів руху робочого масиву у галтувальних обертальних барабанах. У [3] представлено характеристики відтворення тих само режимів руху робочого масиву, однак, у ємкостях, які виконують складне просторове переміщення, наведено особливості переміщення масиву в середині ємкостей.

У матеріалах статті [4] представлено дослідження «базової» конструкції галтувальної машини типу «Turbula», встановлений взаємозв'язок між кутовою швидкістю ведучого валу, габаритами ємкості та зміною режимів руху. У роботі [5] аналогічні дослідження виконані для галтувальної конструкції машини зі складним рухом робочої ємкості, в просторовому механізмі якої використовується додаткова рухома ланка коромисло з вертикальною віссю обертання, а у [6] – для галтувальної конструкції машини зі складним рухом робочої ємкості, у якій ведучий вал обертається згідно отриманого закону зміни кутової швидкості [7], який забезпечує переміщення робочого масиву між протилежними торцями ємкості у зустрічних напрямках з однаковою інтенсивністю.

### Виділення невирішених частин

Базуючись на дослідженнях, які проведені раніше, можна стверджувати, що для кожної розробленої конструкції галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, що має індивідуальні конструктивні особливості, характерні власні окремі математичні залежності, які не раціонально застосовувати для розрахунку режимів руху у інших конструкціях галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. Відомий ряд розроблених галтувальних конструкцій машин з індивідуальними конструктивними особливостями для яких раніше не проводилися дослідження зміни режимів руху робочого масиву. Окрім того, у роботі [3] встановлено закономірність між зміною режимів руху робочого масиву, значенням кутової швидкості ведучого валу та типорозміром робочої ємкості, але лише для одного сталого співвідношення міжосьової відстані робочої ємкості до міжосьової відстані вилок машини. Залишається недослідженим питання встановлення цих закономірностей, що будуть характерними для інших співвідношень міжосьової відстані робочої ємкості до міжосьової відстані вилок галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою повзуном.

### Формулювання цілей статті

Мета даної роботи полягає у аналітичному визначенні залежності між реалізацією режимів руху робочого масиву в середині ємкості та зміною відповідних конструктивних особливостей галтувальної машини типу «Turbula» з додатковою рухомою ланкою повзуном.

### Виклад основного матеріалу

У роботі [8] представлено один із можливих варіантів звільнення від пасивного зв'язку просторового кінематичного ланцюгу галтувальної машини типу «Turbula», яка оснащена додатковою рухомою ланкою повзуном, який кінематично з'єднаний з веденим валом. Модель машини з додатковою рухомою ланкою повзуном представлена на рис. 1. а, кінематична схема – на рис. 1. б.

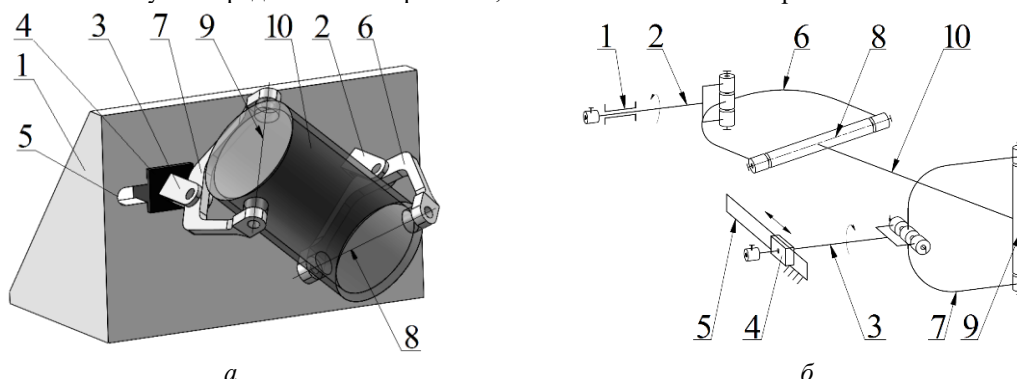


Рис. 1. Конструкція машини з додатковою рухомою ланкою повзуном: а – модель машини, б – кінематична схема

Просторовий механізм машини містить станину 1, ведучий 2 та ведений 3 вали, при чому, ведучий вал 2 встановлений в підшипниковій опорі, а ведений вал 3 кінематично з'єднаний з повзуном, який рухомо, з можливістю зворотно-поступального переміщення, встановлений у горизонтальній напрямній 5. Ведучий 2 та ведений 3 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучою 6 та веденою 7 вилками відповідно, діаметрально взаємно перпендикулярні вісі яких 8 та 9 є всіяма кріплення робочої ємкості 10.

На основі проведених раніше досліджень, які висвітлені у роботі [6] були сформульовані базові положення утворення відповідного режиму руху робочого масиву в середині ємкостей, які виконують складний просторовий рух. У роботі [9] зазначається, що на характер руху частинок робочого масиву в середині ємкості впливають максимальні значення повних прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  точок  $A$  та  $B$ , що розташовані у центрі основ ємкості відповідного масштабного типорозміру  $n$ , а також кутова швидкість ведучого валу машини  $\omega_{ведуч}$ . У [10] зазначається, що перехід до вільного польоту частинок робочого масиву буде розпочинатися у той момент, коли максимальне прискорення відповідного торця ємкості  $a_{maxA}$  ( $a_{maxB}$ ), де сконцентрований робочий масив, стане перевищувати прискорення вільного падіння  $g$ .

Слід зазначити, що максимальні прискорення торців ємкості  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  також будуть залежати від значення коефіцієнту  $\lambda$ , який характеризує відношення міжосьової довжини робочої ємкості  $l_{PC}$  до міжосьової довжини ведучої чи веденої вилок  $l_B$ :

$$\lambda = l_{PC} / l_B. \tag{1}$$

Аналітичні дослідження галтувальної конструкції машини з додатковою рухомою ланкою повзуном виконували з комплексним урахуванням трьох параметрів, а саме: кутової швидкості ведучого валу машини  $\omega_{ведуч}$ , масштабного типорозміру конструкції  $n$ , коефіцієнту  $\lambda$ . Із застосуванням САПР SolidWorks виконували кінематичне дослідження п'яти масштабних типорозмірів ( $n=1; 1,5; 2; 3,5; 4$ ) машини, враховуючи зміну коефіцієнту  $\lambda$  ( $\lambda=1,4; 1,6; 1,8; 2,0$ ). За «базовий типорозмір» ( $n=1, \lambda=1,0$ ) було прийнято машину з такими геометричними параметрами:  $l_{PC} = l_B = 0,077$  м, діаметр ємкості  $d_{PC} = 0,095$  м.

У таблицях 1 – 4 наведені максимальні значення повних прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  для 5-ти типорозмірів галтувальної машини при різних значеннях кутових швидкостей ведучого валу з урахуванням зміни коефіцієнту  $\lambda$ . Отримані максимальні значення повних прискорень торців ємкості було апроксимовано у вигляді графічних залежностей квадратичної функції. На рис. 2 – рис. 5 представлено відповідні графічні залежності.

Таблиця 1

$\omega_{ведуч}$ , град/с	Масштабний коефіцієнт $n$ , при $\lambda=1,4$									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{maxA(1)}$	$a_{maxB(1)}$	$a_{maxA(1,5)}$	$a_{maxB(1,5)}$	$a_{maxA(2)}$	$a_{maxB(2)}$	$a_{maxA(3,5)}$	$a_{maxB(3,5)}$	$a_{maxA(4)}$	$a_{maxB(4)}$
	Максимальні значення прискорень [м/с <sup>2</sup> ]									
1,1	0,27	0,38	0,4	0,6	0,6	0,8	1	1,3	1,1	1,5
2,1	1,1	1,5	1,7	2,2	2,3	3	4	5,3	4,6	6
3,2	2,6	3,4	3,9	5,1	5,1	6,8	9,1	11,9	10,3	13,5
4,2	4,6	6	6,9	9	9,1	12	16,1	21,2	18,3	24
5,3	7,2	9,4	10,7	14,1	14,3	18,8	25,2	33,2	28,7	37,6
6,3	9,8	13,5	15,4	20,3	20,6	27	36,3	47,8	41,4	54,1
7,4	14	18,9	21	27,7	28	36,9	49,4	65	56	73,8

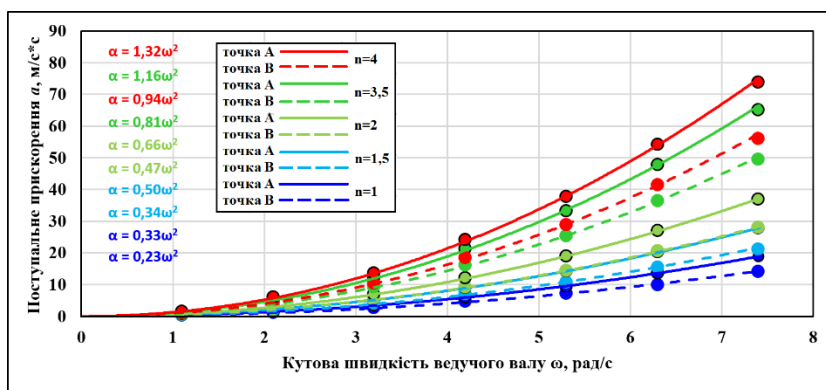


Рис. 2. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості  $\omega_{ведуч}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=1,4$

Таблиця 2

$\omega_{ведуч}$ , град/с	Масштабний коефіцієнт $n$ , при $\lambda=1,6$									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{maxA(1)}$	$a_{maxB(1)}$	$a_{maxA(1,5)}$	$a_{maxB(1,5)}$	$a_{maxA(2)}$	$a_{maxB(2)}$	$a_{maxA(3,5)}$	$a_{maxB(3,5)}$	$a_{maxA(4)}$	$a_{maxB(4)}$
	Максимальні значення прискорень [м/с <sup>2</sup> ]									
1,1	0,3	0,5	0,5	0,7	0,7	1	1,2	1,7	1,4	2

2,1	1,3	1,9	2,1	2,9	2,8	3,9	4,7	6,7	5,6	7,9
3,2	3	4,3	4,7	6,7	6,2	8,9	10,7	15,1	12,6	17,7
4,2	5,4	7,6	8,4	11,8	11,1	15,8	19	26,8	22,4	31,5
5,3	8,4	11,9	13,1	18,5	17,5	24,7	29,6	41,9	35,1	49,4
6,3	12,1	17,1	18,8	26,7	25,2	35,5	42,7	60,4	50,2	71,1
7,4	16,5	23,3	25,7	36,4	34,2	48,5	58,1	82,1	68,4	97

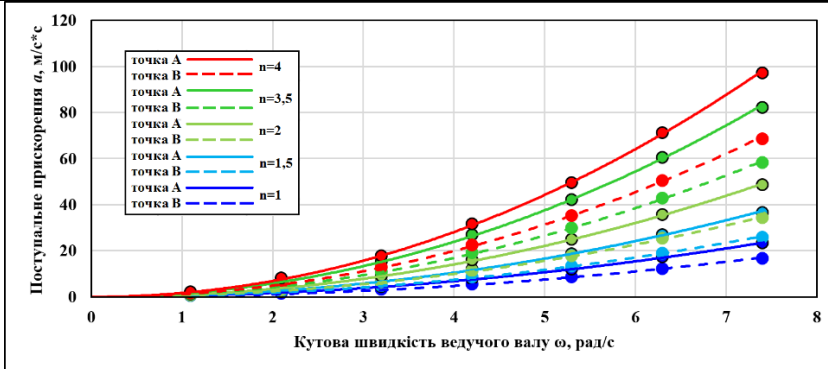


Рис. 3. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості  $\omega_{ведуч}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=1,6$

Таблиця 3

$\omega_{ведуч}$ [рад/с]	Масштабний коефіцієнт $n$ , при $\lambda=1,8$									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{maxA(1)}$	$a_{maxB(1)}$	$a_{maxA(1,5)}$	$a_{maxB(1,5)}$	$a_{maxA(2)}$	$a_{maxB(2)}$	$a_{maxA(3,5)}$	$a_{maxB(3,5)}$	$a_{maxA(4)}$	$a_{maxB(4)}$
	Максимальні значення прискорень [м/с <sup>2</sup> ]									
1,1	0,4	0,6	0,6	0,9	0,8	1,2	1,4	2,2	1,6	2,5
2,1	1,7	2,4	2,5	3,6	3,3	5	5,7	8,7	6,7	9,9
3,2	3,8	5,5	5,6	8,4	7,4	11,3	12,8	19,6	14,9	22,4
4,2	6,7	9,8	10	14,9	13,2	19,9	22,8	34,9	24,5	39,8
5,3	10,4	15,5	15,5	23,4	20,7	31,1	35,6	54,5	41,6	62,3
6,3	14,9	22,3	22,3	33,6	29,8	44,7	51,2	78,5	59,5	89,6
7,4	20,3	30,4	30,4	45,9	40,5	61,1	69,7	106,9	81,1	122,2

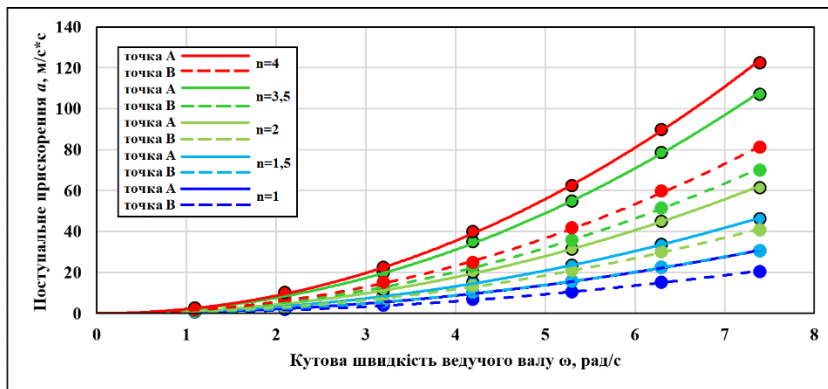


Рис. 4. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості  $\omega_{ведуч}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=1,8$

Таблиця 4

$\omega_{ведуч}$ [рад/с]	Масштабний коефіцієнт $n$ , при $\lambda=2,0$									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{maxA(1)}$	$a_{maxB(1)}$	$a_{maxA(1,5)}$	$a_{maxB(1,5)}$	$a_{maxA(2)}$	$a_{maxB(2)}$	$a_{maxA(3,5)}$	$a_{maxB(3,5)}$	$a_{maxA(4)}$	$a_{maxB(4)}$
	Максимальні значення прискорень [м/с <sup>2</sup> ]									
1,1	0,5	0,8	0,7	1,1	1	1,5	1,7	2,8	1,9	3
2,1	1,9	3,2	2,9	4,5	3,9	6,1	6,8	11,2	7,7	12,1
3,2	4,3	7,1	6,5	10,3	8,6	13,8	15,3	25,2	17,3	27,3
4,2	7,7	12,7	11,6	18,2	15,3	24,3	27,2	44,7	30,7	48,6
5,3	12,1	19,8	17,9	28,5	24	38	42,5	69,9	48,1	76,1
6,3	17,3	28,5	25,8	41,1	34,5	54,6	61,2	100,4	68,9	109,5
7,4	23,6	38,8	35,2	56,1	47	74,7	83,3	137	93,9	149,4

Після аналізу отриманих даних у таблицях та на рис. 2 – рис. 5 встановлено, що приріст прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості ведучого валу  $\omega_{ведуч}$  машини відбувається за квадратичною залежністю, за допомогою Microsoft Excel було отримано відповідні функції (рис. 2). Значення прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  також залежать від зміни коефіцієнту  $\lambda$ , було встановлено відповідну залежність між цими двома параметрами.

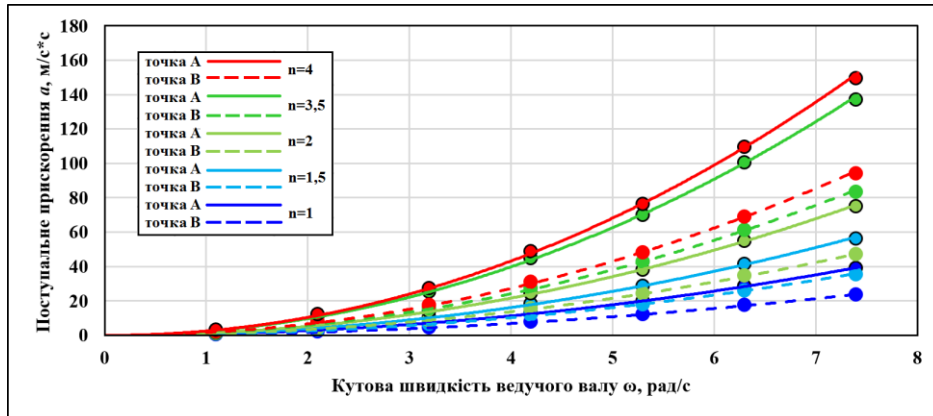


Рис. 5. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості  $\omega_{ведуч}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=2,0$

В результаті, для досліджуваної конструкції машини, отримано загальні математичні вирази для визначення максимальних прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  в залежності від зміни коефіцієнтів  $n$  та  $\lambda$ :

$$a_{maxA} = 0,23n\omega_{ведучA}^2(\lambda - 0,4)^{1,1}; \tag{3}$$

$$a_{maxB} = 0,33n\omega_{ведучB}^2(\lambda - 0,4)^{1,5}. \tag{4}$$

Раніше проведеними дослідженнями у роботі [3] було визначено умови, які характеризують зміну режимів руху робочого масиву в середині ємкості. Таким чином, з урахуванням умов, представлених у роботах [3, 4, 6], запишемо рівняння (3) та (4), виразивши з них значення  $\omega_{ведуч}$ :

$$\omega_{ведучA} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,23n(\lambda - 0,4)^{1,1}}}; \tag{5}$$

$$\omega_{ведучB} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,33n(\lambda - 0,4)^{1,5}}}, \tag{6}$$

де  $\xi$  – коефіцієнт, який відповідає частині робочого масиву, який зможе перейти до стану вільного польоту.

При  $\xi=0,5$  перейти до стану вільного польоту зможе приблизно половина робочого масиву, відповідно, за виразами (5), (6) можна буде розрахувати кутову швидкість ведучого валу, при якому в середині ємкості почнуть реалізуватися перші ознаки змішаного режиму руху. При  $\xi=1$  весь робочий масив зможе перейти до стану вільного польоту, отже, за виразами (5) та (6) можна здійснити розрахунок кутової швидкості ведучого валу, при якому в середині ємкості почнуть реалізуватися перші ознаки водоспадного режиму руху.

Із застосуванням виразів (5) та (6) розраховано граничні значення кутової швидкості ведучого валу машини, що відповідають зміні режимів руху робочого масиву в середині ємностей машин із відповідним коефіцієнтом  $\lambda$ . Розраховані граничні значення кутової швидкості ведучого валу представлено у таблицях 5–8.

Таблиця 5

$\omega_{ведуч}, [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{ведуч}, [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{ведуч}, [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{ведуч}, [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{ведуч}, [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву, при $\lambda=1,4$
0 – 3,8	0 – 3	0 – 2,6	0 – 2	0 – 1,8	Каскадний
3,9 – 6,5	3,1 – 5,3	2,7 – 4,6	2,1 – 3,5	1,9 – 3,3	Змішаний
6,6 <	5,4 <	4,7 <	3,6 <	3,4 <	Водоспадний

Таблиця 9

$\omega_{ведуч}, [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{ведуч}, [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{ведуч}, [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{ведуч}, [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{ведуч}, [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву, при $\lambda=1,6$
0 – 3,3	0 – 2,6	0 – 2,3	0 – 1,7	0 – 1,5	Каскадний
3,4 – 5,9	2,7 – 4,8	2,4 – 4,2	1,8 – 3,2	1,6 – 3	Змішаний
6 <	4,9 <	4,3 <	3,3 <	3,1 <	Водоспадний

Таблиця 7

$\omega_{\text{ведуч.}} [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{\text{ведуч.}} [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{\text{ведуч.}} [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{\text{ведуч.}} [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{\text{ведуч.}} [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву, при $\lambda=1,8$
0 – 2,9	0 – 2,3	0 – 2	0 – 1,5	0 – 1,4	Каскадний
3 – 5,4	2,4 – 4,4	2,1 – 3,8	1,6 – 2,9	1,5 – 2,7	Змішаний
5,5<	4,5<	3,9<	3<	2,8<	Водоспадний

Таблиця 8

$\omega_{\text{ведуч.}} [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{\text{ведуч.}} [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{\text{ведуч.}} [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{\text{ведуч.}} [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{\text{ведуч.}} [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву, при $\lambda=2,0$
0 – 2,6	0 – 2,1	0 – 1,8	0 – 1,3	0 – 1,3	Каскадний
2,7 – 5	2,2 – 4,1	1,9 – 3,6	1,4 – 2,7	1,4 – 2,5	Змішаний
5,1<	4,2<	3,7<	2,8<	2,6<	Водоспадний

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Для галтувальної машини зі складним рухом робочої ємкості, що містить додаткову рухому ланку повзун у своєму кінематичному ланцюзі, встановлено взаємозв'язок між зміною режимів руху робочого масиву, кутовою швидкістю ведучого валу, масштабним типорозміром та відношенням міжосьової відстані ємкості до міжосьової відстані вилوک.

2. Отримані математичні залежності для визначення граничної кутової швидкості ведучого валу галтувальної машини типу «Turbula» з додатковою рухомою ланкою повзуном, яка буде відповідати утворенню необхідного режиму руху робочого масиву.

### Література

1. Першин В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа : монография / Першин В.Ф., Однолюк В.Г., Першина С.В. – М. : Машиностроение, 2009. – 220 с.
2. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості : монографія / О. П. Бурмістенков, Б. М. Злотенко, В. П. Коновал, І. В. Панасюк, М. Є. Скиба, О. М. Синюк. – Хмельниц., 2007. – 255 с.
3. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей : монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев. – К. : Університет «Україна», 2018. – 228 с.
4. Панасюк І.В. Визначення залежності режиму руху робочого середовища у ємкості зі складним рухом від кутової швидкості ведучого валу / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2015. – № 1. – С. 43-52.
5. Zaliubovskiy M. G., Panasiuk I. V., Smirnov Yu. I., Malyshev V. V. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2020. 178, issue 4, 69-75.
6. Panasyuk I., Zalyubovskiy M. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process. *Metallurgical and Mining Industry* 2015. № 3. P. 260-264.
7. Панасюк І.В. Визначення закону зміни кутової швидкості ведучого валу машини для обробки деталей зі складним рухом робочої ємкості / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2015. – № 5. – С. 40-46.
8. Zalyubovskiy M. G., Panasyuk I.V., Koshel' S.O., Koshel' G.V. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine. *International Applied Mechanics*, 57, No. 4, July 2021, 466–476.
9. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2020. – № 1 (142). – С. 27-38.
10. Панасюк І.В. Експериментальне дослідження руху частинки сипкого середовища у робочій ємкості, що здійснює складний рух / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. – № 6. – С. 35-42.

### References

1. Pershin V.F. Pererabotka sypuchih materialov v mashinah barabannogo tipa : monografiya / Pershin V.F., Odnolko V.G., Pershina S.V. – M. : Mashinostroenie, 2009. – 220 c.
2. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vztutievii ta shkirhalantereyinii promyslovosti : monohrafiia / O. P. Burmistenkov, B. M. Zlotenko, V. P. Konoval, I. V. Panasiuk, M. Ye. Skyba, O. M. Syniuk. – Khmelnyts., 2007. – 255 c.
3. Zaliubovskiy M.H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei : monohrafiia / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev. – K. : Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.

4. Panasiuk I.V. Vyznachennia zalezhnosti rezhymu rukhu robochoho seredovyshcha u yemkosti zi skladnym rukhom vid kutovoi shvydkosti veduchoho valu / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2015. – № 1. – S. 43-52.
5. Zaliubovskiy M. G., Panasiuk I. V., Smirnov Yu. I., Malyshev V. V. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2020. 178, issue 4, 69-75.
6. Panasyuk I., Zalyubovskiy M. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process. Metallurgical and Mining Industry 2015. № 3. P. 260-264.
7. Panasiuk I.V. Vyznachennia zakonu zminy kutovoi shvydkosti veduchoho valu mashyny dlia obrobky detalei zi skladnym rukhom robochoi yemkosti / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2015. – № 5. – S. 40-46.
8. Zalyubovskiy M. G., Panasyuk I.V., Koshel S.O., Koshel G.V. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine. International Applied Mechanics, 57, No. 4, July 2021, 466–476.
9. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta obiemu zapovnennia yemkosti na intensyvniat viddilennia metalevykh detalei vid lyvnykiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2020. – № 1 (142). – S. 27-38.
10. Panasiuk I.V. Eksperymentalne doslidzhennia rukhu chastynky sypkoho seredovyshcha u robochii yemkosti, shcho zdiisniuie skladnyi rukh / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2014. – № 6. – S. 35-42.